

光折变自适应光外差探测的实验研究

过巴吉 汪家友 王立军 魏 青 王日升

(西安电子科技大学技术物理系 西安 710071)

提要 利用国产光折变晶体构成一个自适应光外差的实验系统,观察到中频外差输出,并给出了系统的探测灵敏度、自准直性以及接收视场等特性的实验结果。

关键词 光折变自适应,光外差,互泵浦相位共轭,自泵浦相位共轭

1 引 言

自 1988 年美国 Shamir 等人提出利用光折变晶体的互泵浦相位共轭器用于解决外差系统中信号波前畸变问题^[1]的设想以后,与该类探测技术有关的进一步研究工作的报道有 Adamas 等人从实验上说明这类系统具有宽视场特性^[2],可以使参考光与含有大量空间模式的信号光相匹配的自适应特性^[3],我们从理论上对该类探测系统进行了研究,给出了该类探测系统的最小可探测功率与光折变晶体的内部参数(耦合强度)和外部参数(入射光强比)之间的关系^[4]。本文报道我们利用中国科学院物理所提供的 BaTiO₃ 晶体(7.71×5.87×5.62 (mm)) 和山东大学晶体研究所提供的 Cu·KNSBN(5×5.5×5 (mm)) 晶体构成另一种自适应光外差探测系统,实验观察到中频外差输出,并将其探测灵敏度与一般的光外差探测系统的探测灵敏度相比较,表明前者比后者有高得多的探测灵敏度。本文还给出了该探测系统的自准直性和接收视场等特性实验结果,它们分别与[5]中的理论和[2]中的实验规律相吻合。

2 系统结构与原理

在 Shamir 等人提出的光折变光外差探测系统中,如图 1(a) 所示,两块光折变晶体中之一 PR₁ 作互泵浦相位共轭器用,另一块晶体 PR₂ 工作于简并四波混频状态。在[4]中所讨论的系统中,如图 1(b) 所示,两块晶体 PR₁ 和 PR₂ 都工作于互泵浦相位共轭器。由两图可知,这两种系统有一个共同点,即 PR₁ 和 PR₂ 实际上构成了一种新型的光学谐振腔,它与一般光学谐振腔不同的是,这里的增益介质是位于腔体两端的两块光折变晶体,而功率输出镜在腔体中央。与一般振荡器一样,稳定振荡的条件是腔内光场的净增益等于 1。[4] 中理论分析表明,为使外差系统正常工作,总光比 $Q = P_4/P_2$, 有一定的范围限制,而这种对总光比范围的限制,是与晶体的特性(耦合强度)有关的。

我们曾利用输出功率约为 3 mW 的 Ar⁺ 激光器(spectra physics Inc, 162A-07) 和声光衍

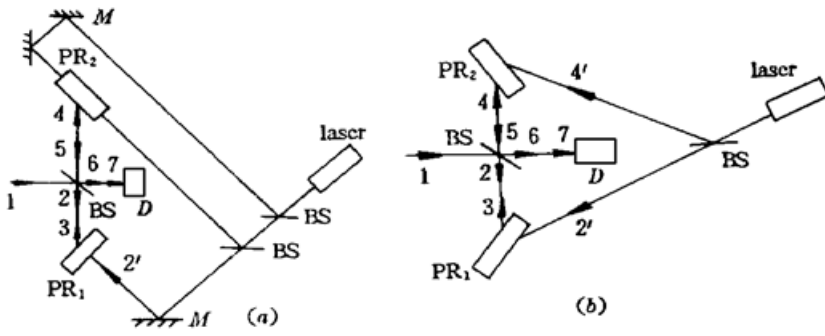


图1 (a)和(b)分别为文献[1]和[2]中的光折变自适应光外差系统

M: 反射镜; BS: 分束器; PR₁, PR₂: 光折变晶体;
D: 探测器; 1~ 7, 2', 4'等为光束

Fig. 1 The photorefractive adaptive heterodyne systems (a) and (b) are after [1] and [2] respectively

M: mirror; BS: beam splitter; PR₁, PR₂: photorefractive crystals;
D: detector; 1~ 7, 2', 4': light beams

射器, BaTiO₃ 和 Cu·KNSBN 光折变晶体等构成如图 2 (a) 所示的实验系统, 其中光折变晶体 PR₂ (BaTiO₃) 工作于自泵浦相位共轭器, P 为 λ/2 波片, 用于改变激光束的偏振面, 使之变为相对于 PR₁ 和 PR₂ 为 e 光。激光器输出的激光束经准直透镜 l₁, l₂ 后, 成为直径约为 1 mm 的平行光束, 通过声光衍射器后产生的 0 级和 1 级衍射光分别为光束 1 和 1', 它们的频率差为 50 MHz。光束 1 通过透镜 l₃ 后, 波前畸变的光束经分束器产生的反射光束 2 与来自光束 1' 的光束 2', 入射光折变晶体 PR₁ (Cu·KNSBN)

构成互泵浦相位共轭器, 光束 3 是光束 2 的相位共轭光, 但其频率与光束 1' 的相同, 光束 3 通过 BS 的部分为光束 4, 它经 PR₂ 产生自泵浦相位共轭光束 5。光束 5 经 BS 的反射光束 7 与光束 1 通过 BS 的光束 6 在光电探测器 D 中混频。对这样的实验系统 (PR₁ 与 PR₂ 构成一谐振腔), 由于我们所用互泵浦相位共轭器的相位共轭反射率, 即使在最佳条件下也不超过 18%, 所用自泵浦相位共轭器的相位共轭反射率不超过 45%。由此表明晶体提供不了足够的增益使振荡器满足稳定振荡的条件, 因而未能实现光外差中频输出。当按图 2 (b) 构成实验系统时, 它实际上只是将图 2 (a) 中的 PR₂ 和探测器 D 互换一下位置而已。这时 PR₁ 和 PR₂ 已不构成谐振腔, 但该实验系统仍具有自适应特性, 并且光束的强度足以使光束 4 通过自泵浦相位共轭器产生相位共轭光束 5, 从而在实验上可观察到光外差中频信号。

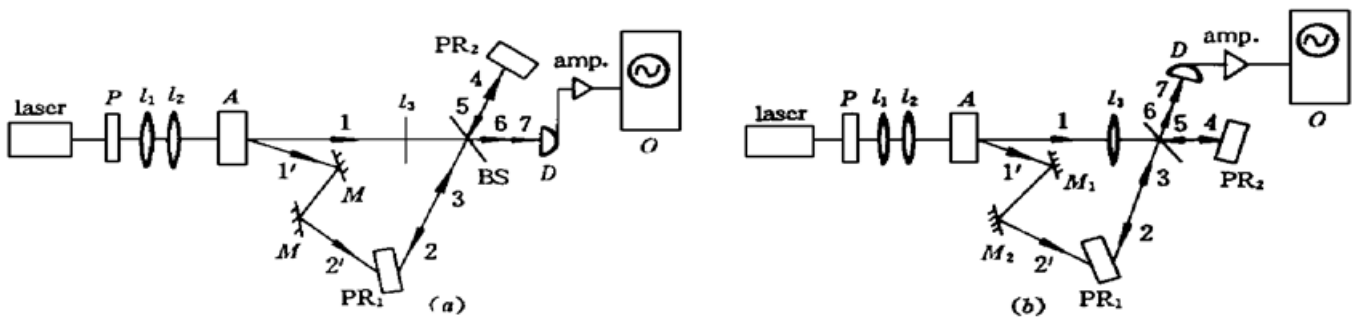


图2 (a)和(b)为光折变自适应外差实验系统简图

L: 氩激光器; P: λ/2 波片, l₁, l₂: 准直透镜, A: 声光偏转器; l₃: 畸变介质; M₁, M₂: 反射镜;
PR₁: Cu·KNSBN; PR₂: BaTiO₃; D: 探测器; Amp: 放大器, O: 示波器; 1~ 7, 1', 2'等为光束

Fig. 2 (a) and (b) sketches of the experimental system for the photorefractive adaptive heterodyne
L: Ar⁺ laser; P: λ/2 plate; l₁, l₂: collimating lenses; A: acousto-optic deflector; l₃: distorting medium; M₁, M₂: mirrors;
PR₁: Cu·KNSBN; PR₂: BaTiO₃; D: detector; Amp: amplifier; O: oscilloscope; 1~ 7, 1', 2': light beams

3 实验结果

3.1 中频外差信号的探测

按图 2 (b) 所示的实验系统, PR₁ 工作于鸟翼式互泵浦相位共轭, PR₂ 工作于自泵浦相位

共轭。声光衍射器的调制频率为 50 MHz。Ar⁺ 激光器(TEM₀₀模, 波长 488 nm) 输出总功率约为 2 mW。当调节光路使得信号光 6 的功率和参考光 7 的功率分别为 0.06 mW 和 0.12 mW 时, 中频外差信号(49.3 MHz) 电压幅值约为 71 mV, 它由 TEX400 MHz 数字示波器显示, 如图 3 所示。图中波形有一定的宽度, 那是由于约 50 MHz 的振荡源的干扰和放大器噪声及声波源频率漂移(每次测量值有几千赫的误差) 所引起。

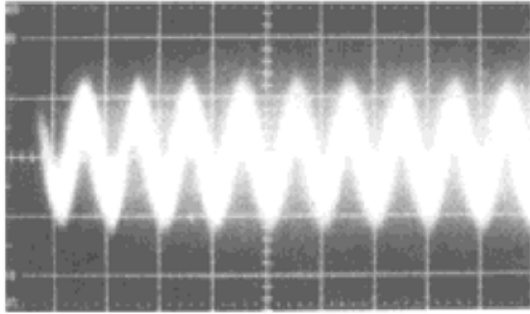


图 3 光折变自适应外差探测器的中频外差输出信号(纵坐标: 电压, 50 mV/格, 横坐标: 时间, 200 ns/格)

Fig. 3 The signal of the middle frequency heterodyne output for the photorefractive adaptive heterodyne detection (ordinate: voltage, 50 mV/div; abscissa: time 20 ns/div)

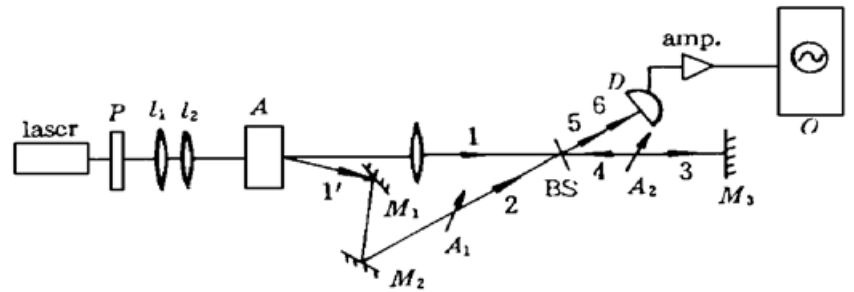


图 4 普通外差系统简图

L: 氩激光器; *P*: $\lambda/2$ 波片, l_1, l_2 : 准直透镜, *A*: 声光偏转器; l_3 : 畸变介质; M_1, M_2, M_3 : 反射镜; BS: 分束器; *D*: 探测器; Amp: 放大器, *O*: 示波器; A_1, A_2 : 衰减器; 1, 1'~6 等为光束

Fig. 4 Sketch of a common heterodyne system

L: Ar⁺ laser; *P*: $\lambda/2$ plate; l_1, l_2 : collimating lenses; *A*: acousto-optic deflector; l_3 : distorting medium; M_1, M_2, M_3 : mirrors; BS: beam splitter; *D*: detector; Amp: amplifier; *O*: oscilloscope; A_1, A_2 : attenuators, 1, 1', 2~6: light beams

图 4 是一个一般的光外差实验系统, 在被仔细调整光路后, 当信号光和参考光功率分别为 0.3 mW 和 0.7 mW 时, 示波器上有明显的频率为 49.3 MHz 的信号波形, 信号电压幅值为 18 mV, 如图 5 所示。但当信号光和参考光分别也为 0.06 mW 和 0.12 mW (这可通过调节衰减器 A_1 和 A_2 控制) 时, 发现中频信号完全淹没在噪声之中。如果定义参量 k

$$k = \frac{\text{中频外差输出信号幅值}}{\sqrt{\text{信号光功率} \times \text{参考光功率}}}$$

为外差探测系统(含放大器)的探测灵敏度, 则由上述实验数据给出, 自适应光外差探测系统的 k 值为 8.37×10^2 V/W; 一般光外差探测系统的 k 值为 3.93×10 V/W。由此可见, 自适应光外差探测系统的探测灵敏度要比一般光外差探测系统的灵敏度高得多。

3.2 自适应光外差系统具有宽的视场

改变入射到图 2 (b) 中 PR_1 上两光束 2 和 2' 之间的夹角 θ , 与改变信号光束 1 的方向相当。图 6 给出自适应光外差系统输出中频外差信号与 θ 之间的关系, 图中横坐标的零度实际与 $\theta = 52^\circ$ 相对应, 表明系统能在较宽的视场约 10° 范围内仍可获得较强的外差信号。本实验所用的放大器与获得图 3 的不同。为降低噪声改进放大器性能, 它是将光电探测器输出的中频外差电信号先与另一频率约为 40 MHz 的电信号进行外差后, 再对频率为 10.7 MHz 的信号进行放大。所以放大器输出信号的频率约为 10.7 MHz。图 6 中所示的实验规律与文献[2]中的曲线相吻合。

3.3 激光束自准直性的观察

对图 3 (b) 所示的自适应光外差实验系统来说, 在近场观察光束 6 和光束 7 的光斑时, 观

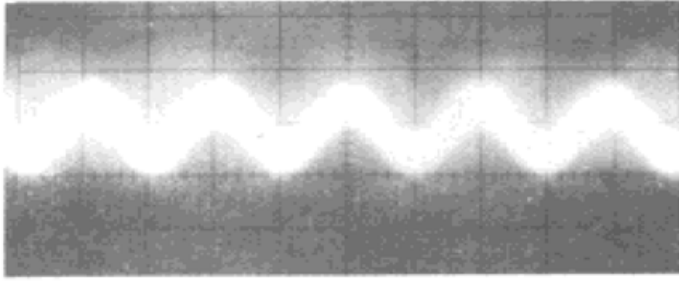


图5 图4中的一个普通外差系统的中频外差信号
(纵坐标: 电压, 20 mV/格; 横坐标: 时间, 10 ns/格)

Fig. 5 The middle frequency heterodyne signal obtained from a common heterodyne system in Fig. 4
(ordinate: voltage, 20 mV/div; abscissa: time 10 ns/div)

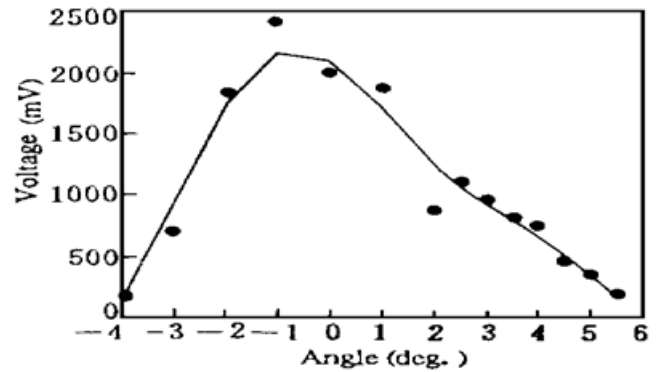


图6 光折变自适应外差信号和两束互泵浦光束间夹角 θ 之间的关系

Fig. 6 The relation between the photorefractive adaptive heterodyne signal and θ (the angle between the two mutually pumped beams for PR₁)

察不出两光斑的不重合,但在远场观察它们的光斑时,能显示出两光斑并不完全重合,如在离分束器 BS 的距离约为 6 m 处的墙壁上观察到两光斑中心相距约 1 mm。这表明两光束之间有一个约为 0.2 mrad 的夹角。这种光斑中心的不重合是与 Bogodaev 等人^[5]提出的双相位共轭镜的两维理论模型的结果,即散射光束的横向强度分布,相对泵浦光束有一位移的结论相吻合。

参 考 文 献

- 1 J. Shamir, H. J. Coulfield, B. M. Hendrickson. Wavefront conjugation and amplification for optical communication through distorting media. *Appl. Opt.*, 1988, **27**(14) : 2912~ 2914
- 2 L. E. Adams, R. S. Bondurant. Wide-field-of-view heterodyne receiver using a photorefractive double phase-conjugate mirror. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(11) : 332~ 334
- 3 L. E. Adams, R. S. Bondurant. Adaptive spatially injection-locked heterodyne receiver. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(3) : 226~ 228
- 4 李晓春, 过巴吉, 汪家友. 光折变自适应光外差探测系统理论研究. *光学学报*, 1995, **15**(8) : 1132~ 1135
- 5 N. V. Bogodaev, V. V. Eliseev, L. I. Ivleva *et al.*. Double phase-conjugate mirror: experimental investigation and comparison with theory. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1992, **9**(8) : 1493~ 1498

The Experimental Investigation of the Optical Heterodyne Detection of the Refractive Adaption

Guo Siji Wang Jiayou Wang Lijun Wei Qing Wang Risheng
(Department of Applied Physics, Xidian University, Xi'an 710071)

Abstract An experimental system of the adaptive optical heterodyne using two domestic photorefractive crystals, an Ar⁺ laser and an acoustic optical deflector are presented. The heterodyne output is observed and the experimental results for the detecting sensitivity, the self-collimation character and the received view-field of the system are given.

Key words photorefractive adaptive, optical heterodyne, mutually pumped phase conjugation, self-pumped phase conjugation